



71 Anmelder:
CeramTec AG Innovative Ceramic Engineering,
73207 Plochingen, DE

74 Vertreter:
Dr. Andreas Scherzberg et al, 53840 Troisdorf

72 Erfinder:
Bindig, Reiner, Dipl.-Ing., 95463 Bindlach, DE;
Günther, Andreas, Dr., 91233 Neunkirchen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE	196 15 694 C1
DE	33 30 538 A1
DE	30 40 563 A1
US	54 06 164
US	52 81 885

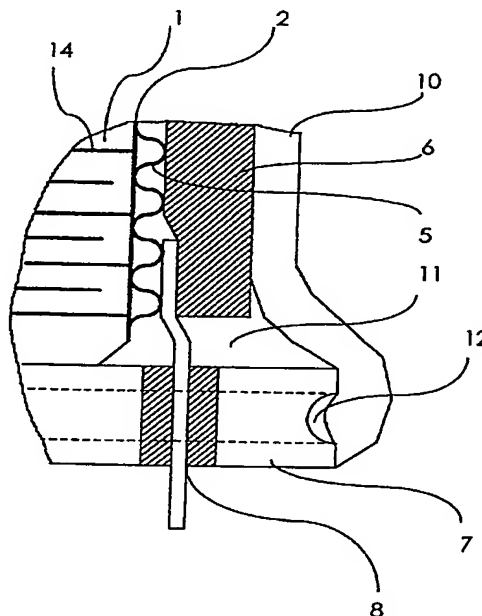
JP 5-48170 A., In: Patents Abstracts of Japan,
E-1390, June 29, 1993, Vol. 17, No. 344;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Anbringung von Außenelektroden an Festkörperaktoren

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anbringung von Außenelektroden (5) an gestapelten Festkörperaktoren (1), die aus einer Vielzahl dünner Schichten elektromechanisch aktiven Materials mit dazwischen eingebrachten, wechselseitig herausgeführten oder wechselseitig isolierten, metallischen Innenelektroden (14) bestehen, wobei die wechselseitig heraustretenden Innenelektroden (14) über eine Grundmetallisierung (2) elektrisch parallel geschaltet sind und mit einer Außenelektrode (5) verbunden sind.

Zur Vergrößerung des Einsatzbereiches und Verlängerung der Lebensdauer wird vorgeschlagen, daß als Außenelektrode (5) eine dreidimensional geformte, elektrisch leitfähige Struktur verwendet wird, die in Richtung der Aktorachse dehnbar ist und die Außenelektrode (5) an die Grundmetallisierung angepreßt wird, um den elektrischen Kontakt über partielle Kontaktstellen zur Grundmetallisierung herzustellen.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anbringung von Außenelektroden an Festkörperaktoren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Festkörperaktoren bestehen in der Regel aus gestapelten dünnen Schichten aktiven Materials (z. B. Piezokeramik, elektrostriktiven Materialien) mit jeweils dazwischen angeordneten leitfähigen Innenelektroden. Außenelektroden verbinden diese Innenelektroden abwechselnd. Dadurch werden die Innenelektroden elektrisch parallel geschaltet und zu zwei Gruppen zusammengefaßt, die die beiden Anschlußpole des Aktors darstellen. Legt man eine elektrische Spannung an die Anschlußpole, so wird diese auf alle Innenelektroden parallel übertragen und verursacht ein elektrisches Feld in allen Schichten aktiven Materials, das sich dadurch mechanisch verformt. Die Summe aller dieser mechanischen Verformungen steht an den Endflächen des Aktors als nutzbare Dehnung und/oder Kraft zur Verfügung.

Die Außenelektroden und deren Fügestellen werden bei vielen Anwendungsfällen durch die fließenden Pulsströme (bis ca. 80 A), die Dehnungsbewegungen (bis ca. 2 %) und die Verlustwärme des Aktors (bis 200°C) sehr hohen elektrischen, mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt.

Festkörperaktoren werden nach dem Stand der Technik meist als Monolithen ausgeführt, d. h. das aktive Material wird als Folie vor dem Sintern mit Innenelektroden versehen, zu Aktorstapeln verpreßt und dann gesintert, wodurch der monolithische Aktor entsteht. Je nach Fertigungsverfahren treten die Innenelektroden von vorne herein wechselseitig aus dem Monolithen aus, oder aber alle Innenelektroden treten aus dem Monolithen aus und müssen dann wechselseitig isoliert werden.

Die Aktoren können auch aus einzelnen, fertig gesinterten und mit Innenelektroden versehenen Scheiben gestapelt werden. Auch hier müssen die Innenelektroden wechselseitig aus dem Stapel herausgeführt werden.

Der gattungsgemäße Stand der Technik wird nachfolgend anhand der Fig. 1 beschrieben.

Auf den Aktorstapel 1 wird im Bereich der herausgeführten Innenelektroden 14 z. B. durch Sputtern, galvanische Verfahren, Siebdruck von Silberpaste, eine Grundmetallisierung 2 aufgebracht. Diese Grundmetallisierung 2 wird verstärkt durch Aufbringen eines metallischen Werkstoffes 3 z. B. durch weitere Siebdruckschritte, Tauchbeschichten, Beloten oder Anlöten eines Bleches. An diese verstärkte Schicht wird der elektrische Anschlußdraht 4 gelötet.

Der Aufbau und die Herstellung derartiger Aktoren und Außenelektroden wird ausführlich beschrieben z. B. in DE 33 30 538 A1, DE 40 36 287 C2, US 5 281 885, US 4 845 399, US 5 406 164 und JP 07-226541 A.

Alle derartigen Außenelektroden und deren Fügestellen neigen unter der andauernden elektrischen, mechanischen und thermischen Belastung, die durch den Aktor verursacht wird zur Materialermüdung. In der Regel setzt bereits nach wenigen 10^7 Belastungszyklen deutlich Rißbildung in den Außenelektroden ein. Die Bauteile versagen meist durch Lichtbogenbildung an diesen Rissen oder durch ablösende Lötverbindungen. Die Betriebstemperatur wird durch Lötverbindungen auf ca. 120°C begrenzt. Höher schmelzende Weichlote (Au/Sn) sind teuer oder haben eine zu geringe Grundfestigkeit (Pb). Hartlot- oder Schweißverbindungen direkt am Aktor kommen aufgrund der empfindlichen aktiven Aktorwerkstoffe nicht in Frage. Klebeverbindungen weisen eine zu geringe mechanische und thermische Stabilität auf.

Die Problematik der Materialermüdung der Außenelek-

troden kann durch Verwendung von dreidimensional strukturierten, in Richtung der Aktorachse dehnbaren Elektroden umgangen werden, jedoch müssen auch diese Elektroden mit der Grundmetallisierung verlötet werden. Diese Lötungen sind ihrerseits anfällig für Ermüdungserscheinungen und begrenzen die Einsatztemperatur. Derartige Festkörperaktoren mit dehnbaren Elektroden sind beschrieben in der unveröffentlichten deutschen Patentanmeldung P 196 48 545.2.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Anbringung von Außenelektroden an Festkörperaktoren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 derart zu verbessern, daß der Einsatzbereich vergrößert und die Lebensdauer der Aktoren wesentlich verlängert ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß eine strukturierte Außenelektrode, z. B. eine gewellte Metallfolie (nach P 196 48 545.2), an die Grundmetallisierung gepreßt wird, um den elektrischen Kontakt herzustellen.

Als Anpreßmedium wird erfindungsgemäß ein PTFE (Polytetrafluorethylen) Schrumpfschlauch verwendet. Neben der Temperaturbeständigkeit bis 260°C stellt der Schrumpfschlauch eine ausgezeichnete elektrische Isolation der Aktoroberflächen dar und bietet einen guten mechanischen Schutz für den stoß- und bruchempfindlichen Aktor.

Erfindungsgemäß kann auch ein PTFE Schrumpfschlauch mit FEP-Innenbeschichtung (Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer) verwendet werden. Neben der Temperaturbeständigkeit bis 205°C, dem elektrischen und mechanischen Schutz bietet diese Methode die Möglichkeit, die sehr feuchtigkeitsempfindlichen Aktoren hermetisch zu verkapseln.

Nachfolgend wird beispielhaft das erfindungsgemäße Verfahren anhand der Fig. 2a, 2b, 2c beschrieben.

Der monolithisch ausgeführte Aktorstapel 1 wird beidseitig mit einer Grundmetallisierung 2 versehen (siehe Fig. 2c). Diese kann aus jedem leitfähigen Material bestehen das bis etwa 400°C thermisch belastbar ist, vorzugsweise wird aber eine galvanisch abgeschiedene Nickelschicht mit bondfähigem Feingoldüberzug verwendet.

Auf diese Grundmetallisierung 2 werden strukturierte Außenelektroden 5 aufgelegt. Diese können aus Drahtgeflecht, Drahtgewirk oder Metallschaum bestehen, vorzugsweise wird gewellte Metallfolie verwendet, die die gleiche galvanische Oberfläche wie die Grundmetallisierung aufweist.

Auf die strukturierten Außenelektroden 5 werden Druckstücke 6 aus thermisch beständigem, elastischen Material aufgelegt, vorzugsweise PTFE, Drahtgewirk oder Drahtgeflecht, die vorzugsweise als Zylinder oder Zylinderabschnitt ausgeformt sind.

Am Boden des Aktorstapels wird das zylindrisch geformte Fußstück 7 positioniert, das zwei isolierte elektrische Durchführungen 8 aufweist. Als Material für das Fußstück kommen gängige Metalle oder Keramikwerkstoffe in Frage, vorzugsweise aber Stahl oder im thermischen Ausdehnungsverhalten dem Aktor angepaßte Legierungen, wie FeNi42 und Aluminiumnitrid. Die durchgeführten Anschlüsse 8 weisen vorzugsweise die gleiche galvanische Oberfläche wie die Grundmetallisierung 2 auf und sind mit Glas, Keramik oder PTFE gegen das Fußstück isoliert. Ihre oberen Enden kommen jeweils auf eine der strukturierten Außenelektroden 5 zu liegen.

Das Fußstück 7 kann mit den an die durchgeführten Drähte 8 angeschweißten strukturierten Außenelektroden 5 und den Druckstücken 6 eine Montageeinheit bilden.

Am Kopf des Aktorstapels wird das zylindrisch geformte Kopfstück 9 positioniert. Es besteht aus dem gleichen Material wie das Fußstück.

Kopf- und Fußstück weisen vorteilhafterweise rundumlaufende Nuten 12 auf um die Dichtwirkung des Schrumpfschlauches 10 zu verbessern.

Über die Anordnung wird ein passender handelsüblicher PTFE Schrumpfschlauch 10 geschoben, der eine unterhalb der Schrumpftemperatur schmelzbare FEP-Innenbeschichtung 11 aufweist. Die Anordnung wird nun auf die Schrumpftemperatur von etwa 350°C gebracht, wobei der Schrumpfschlauch 10 radial und axial schrumpft und die Einzelkomponenten mit hoher Kraft verspannt. Die Innenbeschichtung 11 des Schrumpfschlauches 10 schmilzt und verbindet sich unlösbar und völlig dicht mit den Einzelkomponenten.

Als Ergebnis erhält man einen feuchtigkeitsgeschützten und stoßgeschützten Aktor der für den Einsatz unter hochdynamischen Bedingungen bis 200°C gut geeignet ist.

Das beschriebene Verfahren kann analog und besonders vorteilhaft für Aktoren eingesetzt werden, die aus einzelnen, fertig gesinterten Scheiben 13 gestapelt werden (Fig. 3a, 3b). Die Kraft der axialen Schrumpfung des Schrumpfschlauches macht dabei eine Verklebung der Scheiben untereinander überflüssig. Bei geeigneter Formung und Materialauswahl der Innenelektroden 14, vorzugsweise durch eine partiell 15 um die Kanten der Scheiben reichende galvanisch abgeschiedene Nickelschicht mit bondfähigem Feingoldüberzug, kann auf eine Grundmetallisierung verzichtet werden.

Um die PTFE-Schicht völlig wasserdampfundurchlässig zu machen wird das Verfahren erfindungsgemäß wie folgt fortgesetzt:

Der fertig eingeschrumpfte Aktor wird, z. B. mittels Plasmaätzen und anschließend Sputtern mit Ni/Cu rundum mit einer leitfähigen Metallschicht 16 überzogen, wodurch das vom Aktor ausgehende elektrische Feld abgeschirmt und die Diffusion von Wasserdampf blockiert wird (Fig. 4). Anschließend wird der Aktor mit einem thermisch beständigem Polymer 17 umhüllt, z. B. durch abermaliges Einschrumpfen in einen dünnwandigen PTFE Schrumpfschlauch.

Als Ergebnis erhält man einen hermetisch dichten stoßgeschützten Aktor der für den Einsatz unter hochdynamischen Bedingungen bis 200°C gut geeignet ist.

Nachfolgend werden die Figuren nochmals der Reihe nach beschrieben.

Fig. 1 zeigt als Beispiel einen Festkörperaktor nach dem Stand der Technik, wobei der monolithische Aktorstapel 1 mit wechselseitig herausgeführten Innenelektroden 14 beidseitig mit einer Grundmetallisierung 2 beschichtet ist, die wiederum mit Lot 3 verstärkt ist. An das Lot 3 sind die elektrischen Anschlüsse 4 gelötet. Die gesamte Anordnung ist mit einem handelsüblichen Schutzlack überzogen.

Fig. 2a zeigt als Beispiel einen vertikalen mittigen Schnitt durch einen erfindungsgemäß montierten Festkörperaktor, wobei der monolithische Aktorstapel 1 mit wechselseitig herausgeführten Innenelektroden 14 beidseitig mit einer Grundmetallisierung 2 beschichtet ist, an die mittels des PTFE-Schrumpfschlauches 10 und den Druckstücken 6 die hier nur angedeutete strukturierte Außenelektrode 5 (gewellte Metallfolie) angepreßt wird. Die FEP-Innenbeschichtung 11 des Schrumpfschlauches ist geschmolzen und füllt alle verbliebenen Hohlräume. Das Fußstück 7 mit den elektrisch isolierten Durchführungen 8 und das Kopfstück 9 spannen den Aktor 1 axial und dichten mit den Nuten 12 gegen Umgebungsfeuchtigkeit ab.

Fig. 2b zeigt einen horizontalen mittigen Schnitt durch den gleichen Aktor, wobei gleiche Zahlen die gleichen Gegenstände bezeichnen.

Fig. 2c zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus dem Fuß-

bereich der Fig. 2a, wobei gleiche Zahlen wiederum die gleichen Gegenstände bezeichnen.

Fig. 3a zeigt als Beispiel einen vertikalen mittigen Schnitt durch einen erfindungsgemäß montierten Festkörperaktor, wobei der Aktorstapel 1 aus einzeln gesinterten Scheiben 13 besteht, deren Flächen galvanisch mit einer Ni/Au-Schicht 14 überzogen sind, die an einer Stelle der Scheibe 15 um deren Rand herumgezogen ist. Mittels des PTFE-Schrumpfschlauches 10 wird die als Zylinderabschnitt geformte, strukturierte Außenelektrode 5 (Drahtgewirk) angepreßt. Die FEP-Innenbeschichtung 11 des Schrumpfschlauches ist geschmolzen und füllt alle verbliebenen Hohlräume. Das Fußstück 7 mit den elektrisch isolierten Durchführungen 8 und das Kopfstück 9 spannen den Aktor 1 axial und dichten mit den Nuten 12 gegen Umgebungsfeuchtigkeit ab.

Fig. 3b zeigt einen horizontalen mittigen Schnitt durch den gleichen Aktor, wobei gleiche Zahlen die gleichen Gegenstände bezeichnen.

Fig. 4 zeigt als Beispiel einen vertikalen mittigen Schnitt durch einen erfindungsgemäß montierten Festkörperaktor entsprechend der Beschreibung unter Fig. 2a. Die zusätzliche allseitige metallische Beschichtung 16 verhindert Wasserdampfdiffusion und wird ihrerseits durch den dünnwandigen PTFE-Schrumpfschlauch 17 mechanisch geschützt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Anbringung von Außenelektroden (5) an gestapelten Festkörperaktoren (1), die aus einer Vielzahl dünner Schichten elektromechanisch aktiven Materials mit dazwischen eingebrachten, wechselseitig herausgeführten oder wechselseitig isolierten, metallischen Innenelektroden (14) bestehen, wobei die wechselseitig heraustretenden Innenelektroden (14) über eine Grundmetallisierung (2) elektrisch parallel geschaltet sind und mit einer Außenelektrode (5) verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Außenelektrode (5) eine dreidimensional geformte, elektrisch leitfähige Struktur verwendet wird, die in Richtung der Aktorachse dehnbar ist und die Außenelektrode (5) an die Grundmetallisierung angepreßt wird, um den elektrischen Kontakt über partielle Kontaktstellen zur Grundmetallisierung herzustellen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenelektrode (5) durch einen temperaturfesten Schrumpfschlauch (10) an die Grundmetallisierung (2) gepreßt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Schrumpfschlauch (10) aus PTFE (Polytetrafluorethylen) besteht.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Schrumpfschlauch (10) eine schmelzbare Auskleidung (11) aufweist, die unterhalb der Schrumpftemperatur des Schrumpfschlauches (10) schmilzt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als schmelzbare Auskleidung (11) FEP (Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer) verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß Druckstücke (6) zwischen dem Schrumpfschlauch (10) und der Außenelektrode (5) angeordnet werden, um die radiale Kraft des Schrumpfschlauches (10) zu verstärken.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckstücke (6) als Zylinder oder Zylinderabschnitt ausgeformt sind.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß als Material für Druckstücke (6) ein in Richtung der Aktorachse deformbares Metallgeflecht oder -gewirk oder ein temperaturfestes Polymer wie z. B. PTFE oder PFA (Perfluoralkoxy-Polymer) eingesetzt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktflächen von Grundmetallisierung (2) und Außenelektrode (5) aus einem thermisch beständigen Kontaktmetall wie z. B. Hartgold, Feingold, Zinn, Silber, Palladium oder Palladium/Nickel bestehen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Kontaktflächen von Grundmetallisierung (2) und Außenelektrode (5) aus einer mit bondfähigem Feingold überzogenen Nickelschicht bestehen.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Festkörperaktor von einem Fußstück (7) und einem Kopfstück (9) abgeschlossen wird, wobei das Fußstück (7) zwei elektrische Durchführungen (8) aufweist, die mit Glas, Keramik oder einem thermisch beständigen Polymer isoliert sind.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß Kopfstück (9) und Fußstück (7) zylindrisch ausgebildet sind und umlaufende Nuten (12) zur Verankerung mit dem Schrumpfschlauch (10) aufweisen.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß Kopfstück (9) und Fußstück (7) aus Stahl oder einem im thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Aktorkeramik angepaßten Ausdehnungswerkstoff wie z. B. FeNi42 oder Aluminiumnitrid bestehen.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das fertig eingeschrumpfte Bauteil bzw. der Festkörperaktor (1) mit einer leitfähigen Metallschicht (16) überzogen wird, z. B. durch Sputtern.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauteil bzw. der Festkörperaktor (1) mit einem thermisch stabilen Polymer (17) überzogen wird, z. B. durch abermaliges Einschrumpfen mit einem PTFE Schrumpfschlauch.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

45

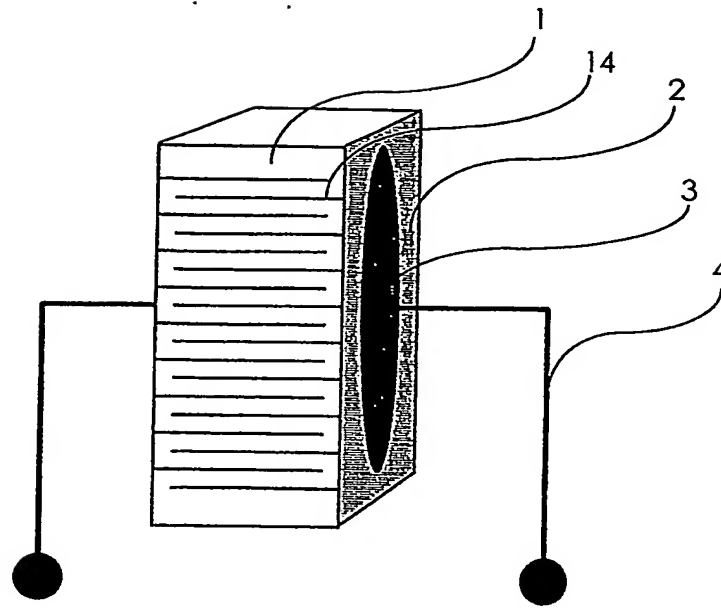
50

55

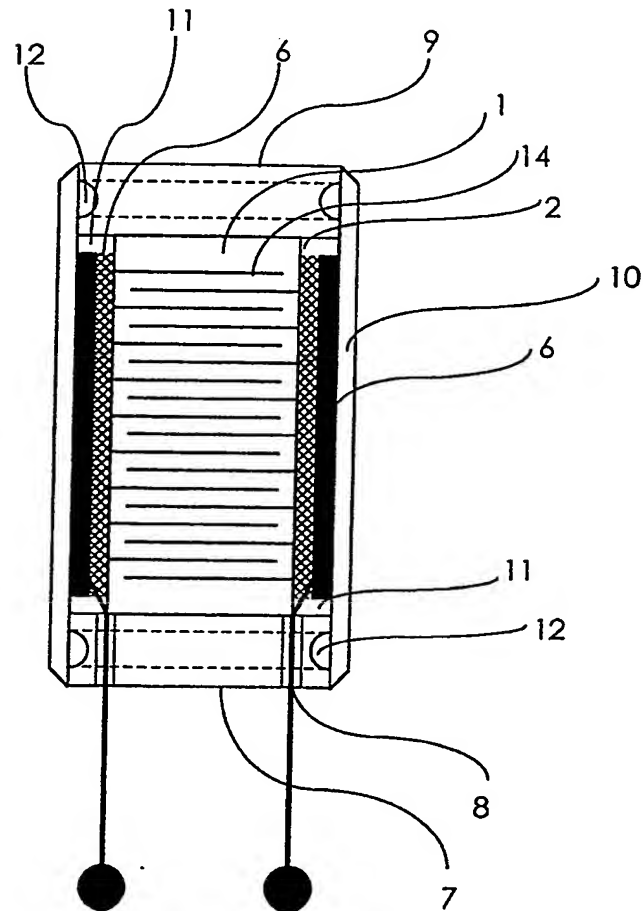
60

65

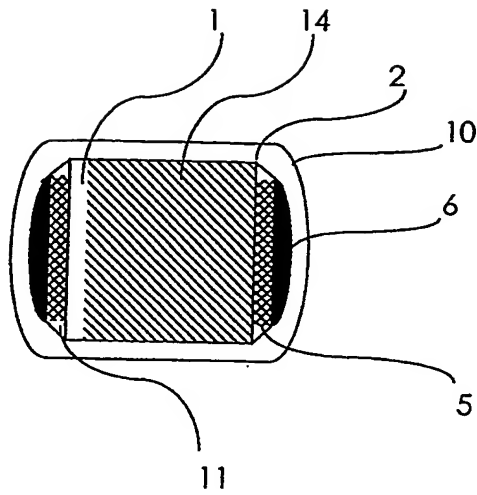
Figur 1



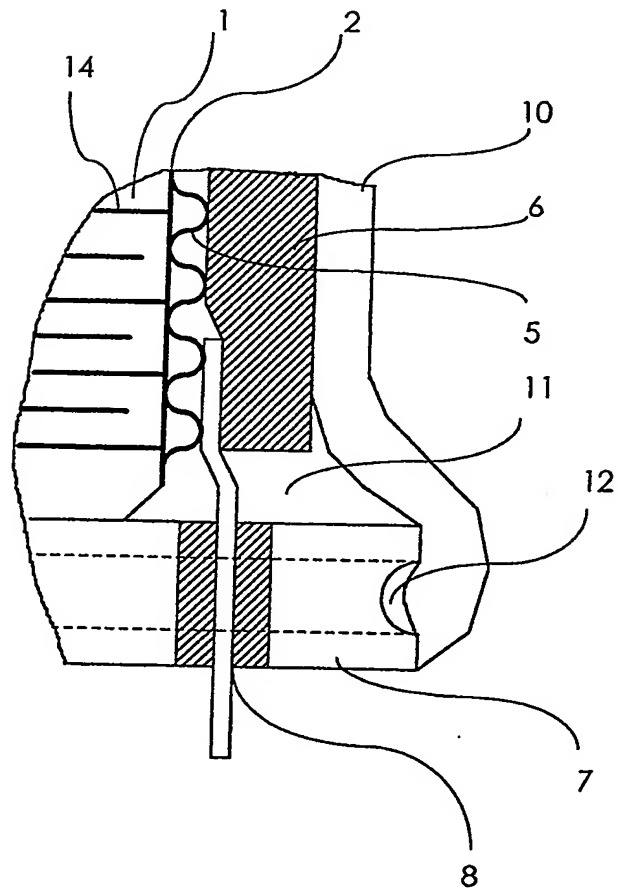
Figur 2a



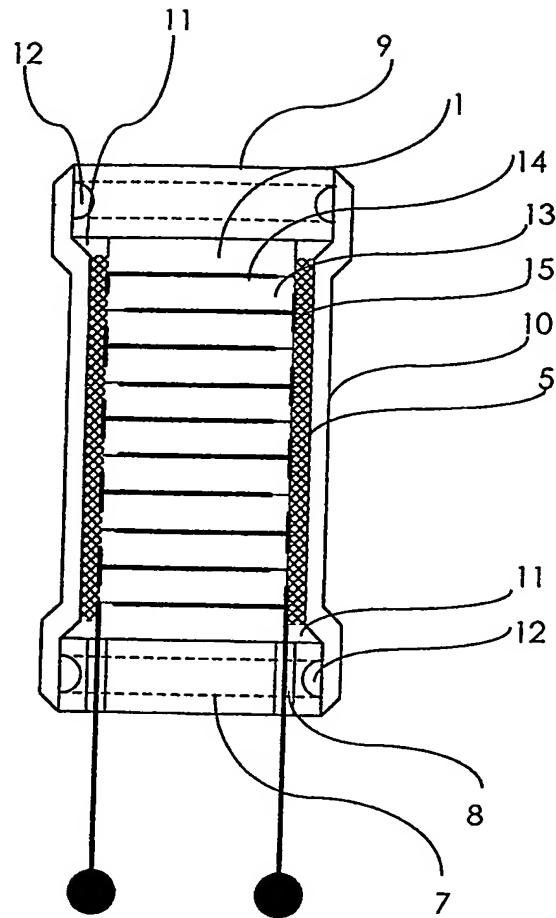
Figur 2b



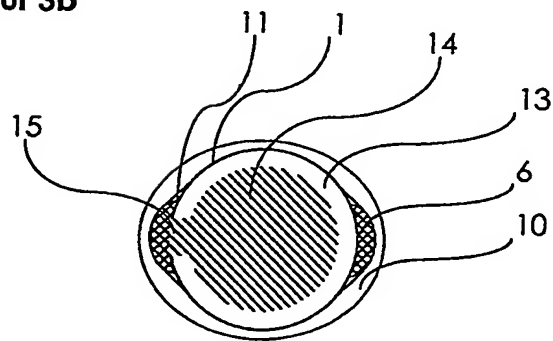
Figur 2c



Figur 3a



Figur 3b



Figur 4

